

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-046079
(43)Date of publication of application : 14.02.1995

(51)Int.Cl. H03H 9/25

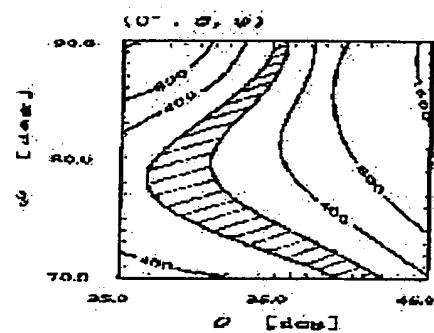
(21)Application number : 05-204616 (71)Applicant : TOYO COMMUN EQUIP CO LTD
SUZUKI YUJI
(22)Date of filing : 26.07.1993 (72)Inventor : SUZUKI YUJI

(54) HIGHLY STABLE SURFACE ACOUSTIC WAVE ELEMENT

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a surface acoustic wave element presenting frequency temperature characteristics equivalent to or better than AT cut utilizing bulk waves by improving the frequency temperature characteristics over a relatively wide temperature range near an ordinary temperature.

CONSTITUTION: In this surface acoustic wave element for which an interdigital transducer(IDT) electrode composed of at least one metallic material whose mass is relatively heavy is disposed on the surface of a piezoelectric substrate so as to utilize SH type surface acoustic waves propagated near the surface of the piezoelectric substrate, a quartz substrate cut out so as to let a cutting angle θ to an XY plane be in the range of 27° - 37° with a crystal X axis as the center of rotation is used as the piezoelectric substrate. The IDT electrode is constituted so as to let an intra-surface rotation angle ψ formed by the phase speed propagation direction of the SH type surface acoustic waves and the crystal X axis be approximately 75° $\leq \psi \leq 90^\circ$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3255502

[Date of registration] 30.11.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-46079

(43)公開日 平成7年(1995)2月14日

(51)Int.Cl.
H03H 9/25

識別記号 庁内整理番号
C 7259-5J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数6 FD (全8頁)

(21)出願番号 特願平5-204616

(22)出願日 平成5年(1993)7月26日

(71)出願人 000003104

東洋通信機株式会社

神奈川県高座郡寒川町小谷2丁目1番1号

(71)出願人 592072171

鈴木 勇次

山梨県甲府市和田町2870

(72)発明者 鈴木 勇次

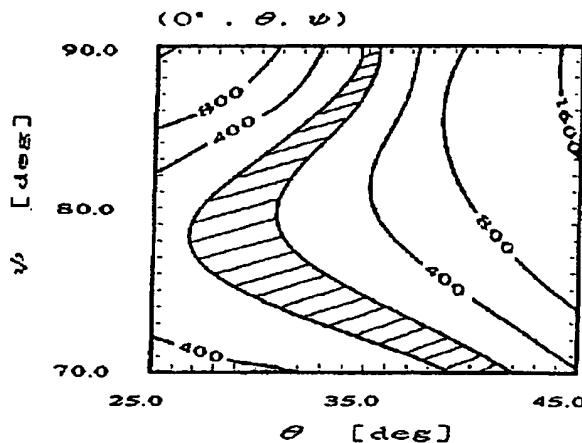
山梨県甲府市和田町2870

(54)【発明の名称】 高安定弹性表面波素子

(57)【要約】

【目的】常温近傍の比較的広い温度範囲に亘って周波数温度特性を改善し、バルク波を利用するATカットと同等あるいはそれ以上の周波数温度特性を呈する弹性表面波素子を提供することを目的とする。

【構成】圧電基板表面近傍を伝搬するSH型弹性表面波を利用すべく前記圧電基板表面に少なくとも一の比較的質量の重い金属材料から成るインタディジタルトランジューサ(IDT)電極を配設した弹性表面波素子に於いて、結晶X軸を回転の中心としてXY平面に対するカットアングルθが27°乃至37°の範囲となるように切り出した水晶基板を前記圧電基板として用いたものであって、前記SH型弹性表面波の位相速度伝搬方向と結晶X軸との成す面内回転角φが概ね75°≤|φ|<90°となるよう前記IDT電極を構成したもの



【特許請求の範囲】

【請求項1】圧電基板表面近傍を伝搬するSH型弹性表面波を利用すべく前記圧電基板表面に少なくとも一の比較的質量の重い金属材料から成るインタディジタルトランジューサ(IDT)電極を配設した弹性表面波素子に於いて、

結晶X軸を回転の中心としてXY平面に対するカットアングルθが27°乃至37°の範囲となるように切り出した水晶基板を前記圧電基板として用いたものであつて、前記SH型弹性表面波の位相速度伝搬方向と結晶X軸との成す面内回転角φが概ね75°≤|φ|<90°となるよう前記IDT電極を構成したことを特徴とする高安定弹性表面波素子。

【請求項2】前記面内回転角φと前記カットアングルθが実質的に

$$|\phi| = (1.1\theta + 48) \pm 5 \quad (\text{deg.})$$

但し、|φ|<90°

を満足するよう構成したことを特徴とする請求項1記載の高安定弹性表面波素子。

【請求項3】前記SH型弹性表面波の波長をλ、前記IDT電極の膜厚をhとしたとき、h/λが実質的に0.01乃至0.018となるよう構成したことを特徴とする請求項1あるいは請求項2記載の高安定弹性表面波素子。

【請求項4】前記IDT電極の材料として金を用いたことを特徴とする請求項1乃至請求項3記載の高安定弹性表面波素子。

【請求項5】圧電基板表面近傍を伝搬するSH型弹性表面波を利用すべく前記圧電基板表面に金を材料とする少なくとも一のインタディジタルトランジューサ(IDT)電極を配設した弹性表面波素子に於いて、結晶X軸を回転の中心としてXY平面に対するカットアングルθが約30°となるように切り出した水晶基板を前記圧電基板として用いたものであつて、前記SH型弹性表面波の位相速度伝搬方向と結晶X軸との成す面内回転角φが概ね81.6°となるよう前記IDT電極を構成したことを特徴とする高安定弹性表面波素子。

【請求項6】前記SH型弹性表面波の群速度伝搬方向に沿って前記IDT電極を配置したことを特徴とする請求項1乃至請求項5記載の高安定弹性表面波素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は共振子あるいはフィルタとして用いる弹性表面波素子、殊に温度変化に対して周波数変動の少ない高安定弹性表面波素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、弹性体の表面付近を伝搬する弹性表面波(SAW: Surface Acoustic Wave)を利用したエレクトロメカニカル機能素子が電子・通信機器の分野を中心に共振子あるいはフィルタ

として用いられており、例えば、最近ではページャ、携帯電話等の移動体通信用フィルタとしての応用も進められている。このような通信の分野に於いては周波数有効利用の要請から、素子の高周波化並びに温度に対する周波数の高安定化が強く求められている。

【0003】周波数温度特性が安定な共振子としてはバルク波を利用したATカット(オイラー角θ=125°; 35°回転Yカット)水晶共振子が一般的であり、図1に示す如く常温近傍を変曲点とする3次曲線の周波数温度特性を呈し、前記変曲点を中心として比較的広い温度範囲に亘って温度変化に対する周波数変動率(周波数温度変化率)を小さくすることが可能であつて、-40~80°Cの温度変化に対し周波数温度変化率が約20 ppmとなることが知られている。ところが水晶のバルク波を利用した共振子は温度変化に対する周波数安定性は優れているものの、その共振周波数が基板の厚さに反比例するため、高周波用共振子を得ようすると基板を薄く加工しなければならず、結果として機械的強度が低下するため製造が困難となり、基本波振動では数十MHz程度が高周波化の限界であった。これに対し、弹性表面波素子はその共振周波数が電極周期で決定するため、基本波振動において1GHz程度の高周波化が容易であり、更なる高周波化が期待されている。

【0004】しかしながら、一般に弹性表面波素子用圧電基板はATカット水晶に比べて周波数温度特性が著しく劣ると云う欠点があり、図2に示す如く比較的周波数温度特性が良好であるとしてSAW共振子あるいはSAWフィルタ等に広く用いられているSTカット(オイラー角θ=132.75°; 42.75°回転YカットX伝搬)水晶基板を用いた弹性表面波素子の場合であつても、-40~80°Cの温度変化に対する周波数温度変化率が約120 ppmとATカットに比して6倍もの変動を呈すると云う欠陥があった。

【0005】

【発明の目的】本発明は上述した如き従来の弹性表面波素子の欠点を除去するためになされたものであつて、常温近傍の比較的広い温度範囲に亘って周波数温度特性を改善し、STカット水晶を用いた弹性表面波素子よりもはるかに優れた、望ましくはバルク波を利用するATカットと同等あるいはそれ以上の周波数温度特性を呈する弹性表面波素子を提供することを目的とする。

【0006】

【発明の概要】上述の目的を達成するため本発明は、圧電基板表面近傍を伝搬するSH型弹性表面波を利用すべく前記圧電基板表面に少なくとも一の比較的質量の重い金属材料から成るインタディジタルトランジューサ(IDT)電極を配設した弹性表面波素子に於いて、結晶X軸を回転の中心としてXY平面に対するカットアングルθが27°乃至37°の範囲となるように切り出した水晶基板を前記圧電基板として用いたものであつて、

前記SH型弹性表面波の位相速度伝搬方向と結晶X軸との成す面内回転角 ϕ が概ね $75^\circ \leq |\phi| < 90^\circ$ となるよう前記IDT電極を構成したものであって、更には前記面内回転角 ϕ と前記カットアングル θ が実質的に $|\phi| = (1.1\theta + 48) \pm 5$ (deg.)

但し、 $|\phi| < 90^\circ$

を満足するよう構成した、あるいは前記SH型弹性表面波の波長を λ 、前記IDT電極の膜厚を h としたとき、 h/λ が実質的に 0.01 乃至 0.018 となるよう構成した、あるいは前記IDT電極の材料として金を用いたもの、理想的には圧電基板表面近傍を伝搬するSH型弹性表面波を利用すべく前記圧電基板表面に金を材料とする少なくとも一のインタディジタルトランジスタ (IDT) 電極を配設した弹性表面波素子に於いて、結晶X軸を回転の中心としてXY平面に対するカットアングル θ が約 30° となるよう切り出した水晶基板を前記圧電基板として用いたものであって、前記SH型弹性表面波の位相速度伝搬方向と結晶X軸との成す面内回転角 ϕ が概ね 81.6° となるよう前記IDT電極を構成したものであり、前記SH型弹性表面波の群速度伝搬方向に沿って前記IDT電極を配置したものである。

【0007】

【実施例】以下、本発明を実施例を示す図面に基づいて詳細に説明する。本発明は図3に示す如く、互いに直交する2つの回転Yカット水晶基板の一方をATカット基板1と想定したとき、他方の基板2の表面にIDT電極を配設することにより、周波数温度特性の優れたATカット基板1のバルク波と同じ図中黒ヌリの矢印で示す伝搬方向をもち、この伝搬方向に対し垂直な図中白ヌキの矢印で示す方向に粒子変位を有するSH型弹性表面波 (例えば、所謂Loeve波の如き弹性表面波) が存在するとの知見に基づきなされたものである。

【0008】まず、周波数温度特性についての理論的解析の結果を示し、次いでこれに基づいて行った実験結果を示す。水晶基板の切断面および表面波の伝搬特性を論ずる際には、一般にオイラー角を用いる。ここでは図4に示す如き右手系のオイラー角(ϕ, θ, ψ)を用いた。これは図中X, Y, Zを夫々水晶の結晶軸とすると、第1回転角 ϕ はZ軸を中心に、第2回転角 θ は ϕ による変換後のX軸であるX'軸を中心にXY平面を夫々回転した角度であり、第3回転角 ψ は前記2つの回転で決まった平面内でのX'軸からの回転角で表面波の伝搬方向である。このオイラー角を用いて新しい座標系(X₁, X₂, X₃)に対する材料係数を求めることができる。例えば、 -60° 回転YカットZ'伝搬水晶基板の場合は($0^\circ, 30^\circ, 90^\circ$)と表記され、以下 θ をカットアングル、 ψ を面内回転角と称する。

【0009】回転Yカット水晶基板の表面に膜厚 h の金属膜を設け、X₁方向に伝搬するSH型弹性表面波について解析を行う。この場合SH型弹性表面波はX₂方向

に粒子変位を持つ横波であり、所謂Loeve波を利用するものとする。図5は解析モデルを示す図であって、Loeve波を励起するには比較的質量の重いIDT電極を必要とするため膜厚 h を有する金属膜の材料として金(Au)を用いた場合につき解析を行なった。

【0010】解析には、水晶基板内並びに金属膜内で夫々独立の変位および電位を仮定し、各領域で構成方程式

$$T_{ij} = C^E \epsilon_{ijkl} S_{kl} - e_{klj} E_k \quad (1)$$

$$D_i = \epsilon^S_{ij} E_j + e_{ijk} S_{jk} \quad (2)$$

但し、 C^E : 電界一定の時の弹性スティフェス定数

T : 応力

ϵ^S : ひずみ一定の時の誘電率

e : 圧電定数

E : 電界

S : ひずみ

D : 電束密度

およびニュートンの運動方程式

【数1】を用いた。但し、文字上のドットは時間積分を、コンマはその後の数字の方向への空間積分を表している。さらにガウスの法則

$$D_{i,j} = 0 \quad (i = 1, 2, 3) \quad (4)$$

をこれらと連立させ、各境界における境界条件を

(1) 粒子変位が連続であること

(2) 応力が連続であること

(3) 電束密度の法線成分が連続であること

(4) 電位が連続であること

として解析を行った。

【0011】X₁方向に伝搬する波動の位相速度を V 、IDTの1周期長を L とするとその中心周波数 f は、

$$f = V/L \quad (5)$$

となる。位相速度 V は基板と金属膜の材料定数によって決まるが、材料定数は温度によって変動するから、結果として V が温度によって変化することとなる。ここで、温度によって変化するため V に影響を及ぼす材料定数として

1) 基板材料の弹性定数

2) 基板材料の密度

3) 電極金属膜の弹性定数

4) 電極金属膜の膜厚

5) 電極金属膜の密度

さらに、IDTの周期 L に影響を与えるものとして

6) 基板材料の熱膨張

7) 電極金属膜の熱膨張

と云った事項を考慮した。

【0012】上述の理論式に基づき解析した結果を以下に示す。まず面内回転角 ϕ が 90° (Z伝搬) の場合について解析した結果を図6に示す。同図に於いて横軸はカットアングル θ 、縦軸は伝搬するSH型弹性表面波の波長 λ で正規化した膜厚 h/λ であって、等価線中の数字は $-40 \sim 80^\circ C$ に於ける周波数温度変化率の変化

量であり、単位は ppm である。尚、斜線で示す部分は周波数温度変化率が 100 ppm 以下となる領域である。面内回転角 $\phi = 90^\circ$ の場合は ST カットの時と同様に 2 次的な曲率の周波数温度特性を呈するものの最適なカットを選択することにより周波数温度変化量が ST カットの場合の 1/2 以下となる。しかしながら、これは AT カットの周波数温度変化率の約 3 倍であり、更なる周波数温度特性の改善をすべく面内回転角 ϕ の条件を段階的に変化せしめて解析を行った。

【0013】図 7 はその結果をまとめたものであって、横軸にはカットアングル θ 、縦軸には面内回転角 ϕ をとり、各組合せにおいて $-40 \sim 80^\circ$ C の周波数温度変化率の変化量が最小となる正規化膜厚 h/λ をプロットしたものである。同図によれば、カットアングル θ が 27° 乃至 37° の範囲となるように切り出した水晶基板において、

$$\phi = 1.1\theta + 48 \quad (\text{deg.}) \quad (6)$$

なる式を満足する場合には、膜厚を適当に選択すれば最適な周数温度特性が得られる。図 8 は正規化膜厚 $h/\lambda = 0.015$ の時の $-40 \sim 80^\circ$ C の周波数温度変化率の変化量を等値線図として示したもので、等値線上の数字は周波数温度変化率の変化量であり、単位は ppm である。斜線で示す部分は周波数温度変化率の変化量が ST カット水晶基板を用いた弹性表面波素子のそれより小さい 100 ppm 以下となる領域であって、カットアングル θ が 27° 乃至 42° の範囲であり、面内回転角 ϕ が概ね 70° より大きく 90° より小さい範囲に存在する。図 9 および図 10 は、夫々正規化膜厚 $h/\lambda = 0.015$ の時のカットアングル θ および面内回転角 ϕ による $-40 \sim 80^\circ$ C の周波数温度変化率曲線の違いを求めたものであり、図 11 は両者の結果より最も周波数温度変化率の少なかったオイラー角 ($0^\circ, 29.9^\circ, 81.55^\circ$) なる条件に於いて正規化膜厚 h/λ を変化せしめた場合の周波数温度変化率曲線である。上述した最小となる条件に於いては、AT カットの 1/3 以下の約 6 ppm 以下と極めて高安定な SAW デバイスの実現を示唆するものである。

【0014】上述の最適条件に対してカットアングル θ のみを変化させた場合は約 $\pm 0.85^\circ$ 、面内回転角 ϕ のみを変化させた場合は約 $\pm 1.4^\circ$ 、膜厚のみを変化させた場合は正規化膜厚 h/λ にして約 $\pm 5\%$ と云う比較的広範囲に亘って、 $-40 \sim 80^\circ$ C の周波数温度変化率の変化量が 30 ppm 以下となる。このような広範囲に亘って良好な周波数温度特性が存在するならば、実際に基板をカットする際、あるいは基板上に電極を形成する際のマスク合わせにずれが生じた場合であってもこれを許容し十分な周波数温度特性のデバイスを実現する上で有利である。従って、従来の ST カット水晶基板を用いた弹性表面波素子の周波数温度特性より優れた特性を得る為に実質的には

$$\phi = (1.1\theta + 50) \pm 5 \quad (\text{deg.})$$

$$\text{但し、} \phi < 90^\circ \quad (7)$$

なる式を満足するよう構成すればよい。

【0015】明細書が煩雑となるので個別のデータは省略するが、図 7 に示す各プロット点に於いて、上述した正規化膜厚 $h/\lambda = 0.015$ の時とほぼ同等の解析結果を得ることができ、同図より面内回転角 ϕ が 90° に近づく若しくはカットアングル θ が大きくなるにしたがって膜厚の最適条件は薄くなる。また、 $-40 \sim 80^\circ$ C での周波数温度変化率の変化量が 30 ppm 以下となるためにカットアングル θ 、面内回転角 ϕ 並びに正規化膜厚 h/λ がとり得る領域は膜厚が厚いほど広くなり、膜厚が薄くなるにしたがって狭くなる傾向があった。

【0016】以上、周波数温度特性のみに着目し、その解析結果について述べてきたが、SAW デバイスとして他の特性、例えば電気機械結合係数 (K^2) 、パワーフロー角についても考慮する必要がある。ここで、周知の通り電気機械結合係数は圧電効果の大小を示す量であり、弹性表面波素子の基板として利用する上で大きいほうが望ましい。図 12 は正規化膜厚 $h/\lambda = 0.015$ の時の電気機械結合係数の解析結果を示す等値線図であって、実線は SH 型弹性表面波の、破線は一般的なレーリー波の電気機械結合係数を示している。SH 型弹性表面波の電気機械結合係数は ST カット水晶基板の一般的な値のおよそ 2 倍と大きく、今回利用する SH 型弹性表面波にとってレーリー波は不要なスプリアス応答となるものの、SH 型弹性表面波の電気機械結合係数はレーリー波のそれに比して十分大きく、レーリー波による影響は少ないと考えられるが、カットアングル θ を小さく且つ面内回転角 ϕ を 90° に近づけたほうが望ましく、 75° 以下では弹性表面波素子を構成するのに十分な電気機械結合係数を得ることが困難であると考えられる。また図示は省略するが膜厚を厚くするほど SH 型弹性表面波の電気機械結合係数が大きく、レーリー波のレスポンスが小さくなることを見い出した。

【0017】一方、パワーフロー角は図 13 に示す如く基板上に配設した IDT 電極により励起される弹性表面波の位相速度の伝搬方向と群速度の伝搬方向とのなす角度であって、パワーフロー角が大きくなると伝搬損失が増大する原因となることから零とすることが望ましいとされている。図 14 はパワーフロー角の解析結果を示す等値線図であって、SH 型弹性表面波の場合は面内回転角 ϕ が 90° の時パワーフロー角が零となり、 90° から離れるにしたがってパワーフロー角が大きくなる傾向を呈する。即ち、電気機械結合係数及びパワーフロー角の影響を勘案すればカットアングル θ を 27° 乃至 37° の範囲、面内回転角 ϕ を概ね 75° より大きく 90° より小さい範囲で選ぶことが弹性表面波素子として実用的であると言えよう。

【0018】以上の解析結果に基づき、サンプルを試作

し-40~80°Cの温度範囲に於ける周波数温度変化率の測定を行なった。以下煩雑となるのを避ける意味からオイラー角(0°, 30°, φ)の水晶基板(-60°回転Yカット水晶基板)上に電極を形成した場合について説明する。金と水晶基板との付着力が弱いことから基板上に薄い(数100オングストロームの)チタンを蒸着した上に金を蒸着し、これをフォトエッチングすることにより電極形成した。IDT電極は送・受波用それぞれ60対と40対とし、交差幅は20波長分とした。また、送・受波用IDT間には20波長分のグレーティングを、両IDTの外側には50波長分の一様膜を設けた。図15は実験に用いた電極パターンの概略配置図であって、パワーフロー角を勘案して群速度伝搬方向に沿って配置した。

【0019】図16は面内回転角φが81.53°、電極膜厚が8720オングストローム、波長λが52μm、IDT電極のピッチに対する電極指の幅の比率w/pが4.7%であるサンプルについて、IDTによる周波数伝送特性を50Ω系のネットワーク・アナライザにて測定した結果である。同図より、SH型弹性表面波の中心周波数から約4.5%低い周波数側にレイリー一波の応答が確認できるが、レイリー一波の周波数温度変化率に比してSH型弹性表面波のそれが非常に小さいことがわかる。

【0020】図17は面内回転角φを81.6°としたサンプルについての周波数温度変化率の変化を示す図であり、理論値を示す図18と同様に電極の膜厚hが薄い場合には周波数温度変化特性は傾きの大きい右下がりの直線的な変化を示し、膜厚を徐々に厚くするに従って傾きが小さくなると共に20°C近傍に変曲点をもつ3次曲線を呈すると云う傾向が見られた。グラフが煩雑となるためサンプル数を間引いて示したが、この例では8000乃至8600オングストロームの範囲で-40~80°Cでの周波数温度変化率の変化量が70ppm以下となり、特に図中白抜きの三角印で示すサンプルは約20ppmと、目標とするATカット水晶基板に於けるバルク波の場合とほぼ同等の特性が得られた。而してさらに膜厚を厚くするとこれも理論値と同様に再び右下がりの直線を呈するようになる。

【0021】面内回転角φ、w/p、金薄膜の下地として用いたチタンの膜厚及びマスク精度等の製造上のばらつきを原因とするサンプル毎の周波数温度変化率のばらつきも見られたが、これらのばらつきを考慮し補正を行なってみるとほぼ理論値通りの結果を得ることができた。さらに、面内回転角φを83.0°及び85.0°としたサンプルによる実験結果を夫々図19及び図20に示す。この場合も理論値とほぼ同等の結果を得ることができた。また、実験結果は省略したがカットアングルθが30°以外の条件についてもほぼ同等の結果が得られることを確認した。

【0022】尚、以上本発明を面内回転角φが正の場合を例に説明してきたが、本発明はこれのみに限定されるものではなく、結晶の対称性からφを負の方向に回転せしめた場合であっても同等の特性が得られることは当然であり説明するまでもない。即ち、周波数温度変化率の変化量が100ppm以下であり、電気機械結合係数及びパワーフロー角の影響を勘案した弹性表面波素子として実用的な領域は、カットアングルθが27°乃至42°の範囲で、面内回転角φが概ね75°≤|φ|<90°となる範囲に存在し、前記(7)式は

$$|\phi| = (1.16 + 4.8) \pm 5 \quad (\text{deg.})$$

但し、|φ|<90°

と書き換えることが可能である。また、実施例として水晶基板上に2つのIDT電極を形成した弹性表面波共振子を例に本発明を説明してきたが、本発明はこれのみに限定されるものではなく、水晶基板上に1つのIDT電極とその両側に反射器を配置するタイプあるいは多数のIDT電極を配置しこれらを縦続接続するタイプ等のあらゆる弹性表面波素子に適用可能なこと言うまでもない。

【0023】

【発明の効果】本発明は、以上説明した如く構成するものであるから、SH型弹性表面波を利用するSAWデバイスを、カットアングルθが27°乃至37°の範囲となるように切り出した水晶基板を前記圧電基板として用い、面内回転角φが概ね75°≤|φ|<90°となるよう適宜選択して電極を構成するのみで何ら格別の手段を講じることなく、ATカット水晶のバルク波と同等の周波数温度特性を実現可能とする上で著しい効果を奏する。

【0024】

【図面の簡単な説明】

【図1】ATカット水晶共振子の周波数温度特性を示す図。

【図2】STカット水晶基板を用いた弹性表面波共振子の周波数温度特性を示す図。

【図3】SH型弹性表面波を説明する図。

【図4】オイラー角の定義を示す図。

【図5】解析に用いた解析モデルを示す図。

【図6】オイラー角(0, θ, 90°)に於ける解析結果を示す図。

【図7】面内回転角φを段階的に変化せしめたときの解析結果を示す図。

【図8】正規化膜厚h/λ=0.015の時の周波数温度変化率の変化量を等値線図として示した図。

【図9】カットアングルθを段階的に変化せしめたときの周波数温度変化率曲線を示す図。

【図10】面内回転角φを段階的に変化せしめたときの周波数温度変化率曲線を示す図。

【図11】正規化膜厚h/λを段階的に変化せしめたと

きの周波数温度変化率曲線を示す図。

【図12】正規化膜厚 $h/\lambda = 0.015$ の時の電気機械結合係数の解析結果を等値線図として示した図。

【図13】パワーフロー角を説明する図。

【図14】パワーフロー角の解析結果を等値線図として示した図。

【図15】電極パターンの概略配置図。

【図16】周波数伝送特性を測定した結果を示す図。

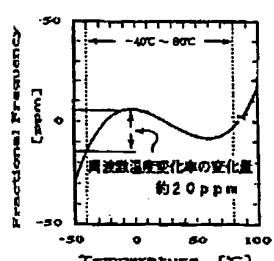
【図17】面内回転角 $\phi = 81.6^\circ$ のサンプルの周波数温度変化率曲線を示す図。

【図18】解析により求めた面内回転角 $\phi = 81.6^\circ$ のときの周波数温度変化率曲線を示す図。

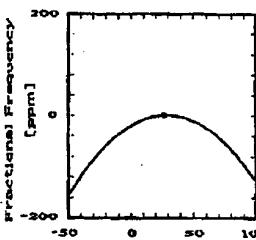
【図19】面内回転角 $\phi = 83.0^\circ$ のサンプルの周波数温度変化率曲線を示す図。

【図20】面内回転角 $\phi = 85.0^\circ$ のサンプルの周波数温度変化率曲線を示す図。

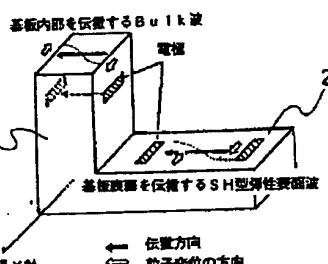
【図1】



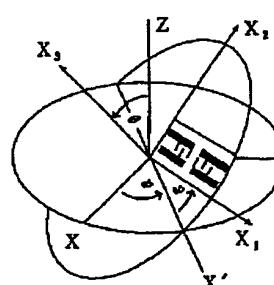
【図2】



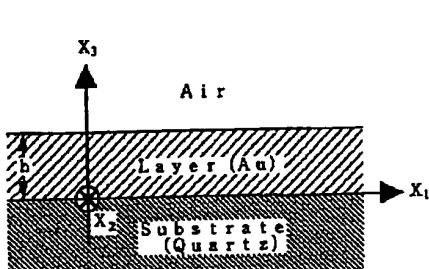
【図3】



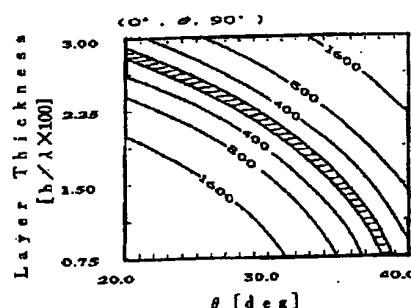
【図4】



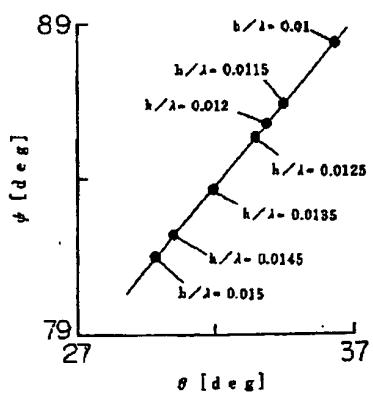
【図5】



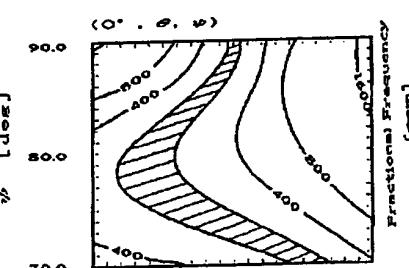
【図6】



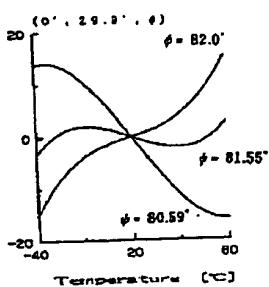
【図7】



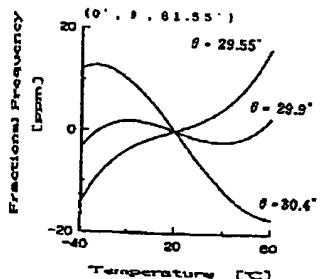
【図8】



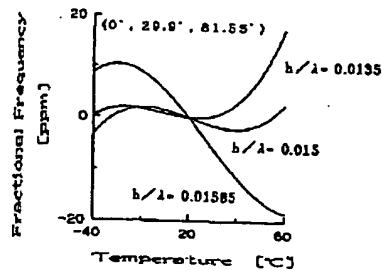
【図9】



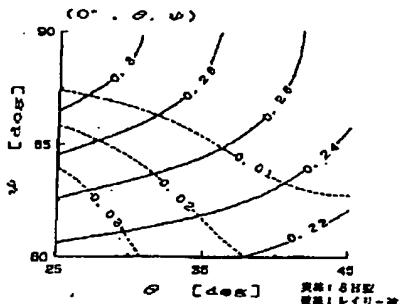
【図10】



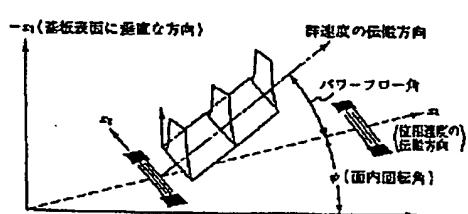
【図11】



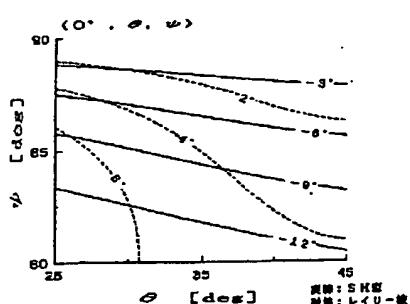
【図12】



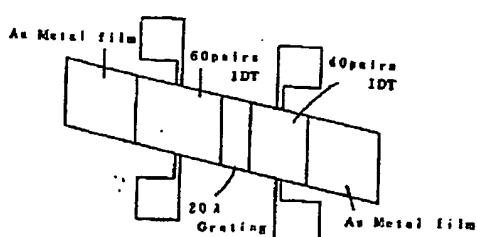
【図13】



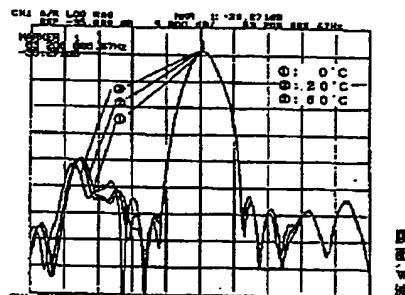
【図14】



【図15】

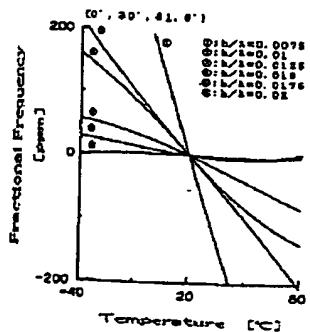


【図16】

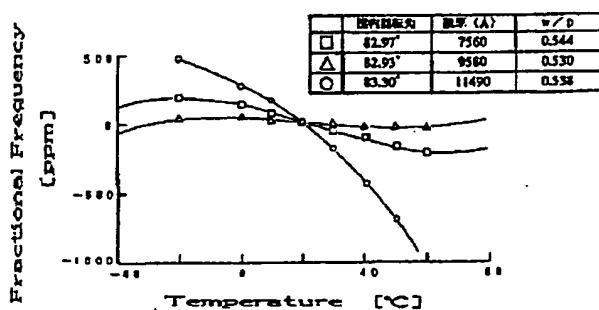


基底 $h = 8720 \text{ \AA}$
面内回転角 $\phi = 81.53^\circ$
 $v/p = 0.47$
波長 $\lambda = 52.0 \mu\text{m}$

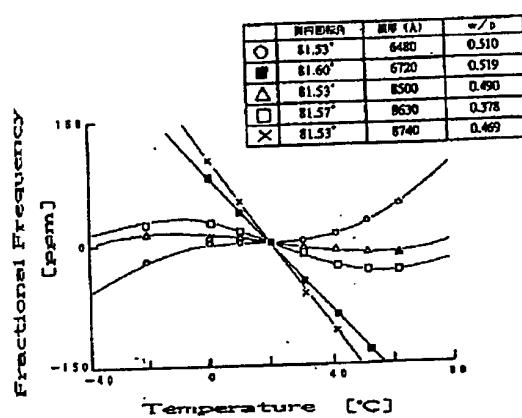
【図18】



【図19】



【図17】



【図20】

